

ANALISIS SISTEM PENTANAHAN JARINGAN GARDU INDUK 150 KV PT BEKASI POWER CIKARANG

Agus Riyanto ¹⁾, Joni Welman Simatupang ²⁾

¹⁾ Program Studi Teknik Elektro, Universitas Presiden, 17550

²⁾ Program Studi Teknik Elektro, Universitas Presiden, 17550

e-mail: agusacil.17@gmail.com, joniwsmt@president.ac.id

ABSTRAK

Sistem pentanahan merupakan salah satu bentuk sistem proteksi terintegrasi ketenagalistrikan dari gangguan yang dapat membuat kerusakan pada peralatan listrik sehingga berakibat pada putusnya kontinuitas pelayanan daya ke konsumen. Tulisan ini memaparkan hasil analisis dari penelitian terhadap sistem pentanahan elektroda batang jaringan gardu induk 150 KV di PT Bekasi Power Cikarang. Eksperimen dilakukan dengan mengukur nilai tahanan kaki menara dengan menggunakan alat *digital earth tester*. Rangka-rangka menara dihubungkan dengan sistem pentanahan *grid* yang ditambah dengan satu batang elektroda. Nilai aktual pentanahan yang diperoleh dari pengukuran adalah 1.21 Ω (maksimal) dan 1.13 Ω (minimal). Nilai pentanahan yang diperoleh tersebut masih dalam rekomendasi SNI 04-0225-2000, "Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2000" yang disingkat dengan PUIL 2000. Kesimpulannya, semakin kecil nilai pentanahan yang diperoleh maka semakin baik sistem pentanahan dan proteksinya.

Kata kunci : Sistem proteksi, Elektroda batang, Sistem pentanahan, Gardu induk, Tahanan jenis tanah

ABSTRACT

Grounding system is one of the electricity integrated protection systems from disturbances that can cause damage to the electrical equipment, that resulting in breaking the service continuity to the consumers. This paper presents the results and analysis of research that was conducted on grounding system of rod electrode at high power system of 150 kV PT Bekasi Power. Experiments were conducted by measuring the value of grounding resistance value of the tower by using digital earth tester tool. The frames of the tower are connected to the grid's grounding system which is added by a single rod electrode. The actual grounding resistance value obtained from the measurement is a maximum of 1.21 Ω and a minimum of 1.13 Ω . The obtained grounding resistance value are still in the recommendation of SNI 04-0225-2000. "Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2000," which is called PUIL 2000. The conclusion is that the smaller grounding value is obtained, then the better grounding system will be.

Keyword : Protection system, Rod electrode, Grounding system, Substation, Soil resistance

Naskah Diterima : 20 Januari 2019

Naskah Direvisi : 18 Februari 2019

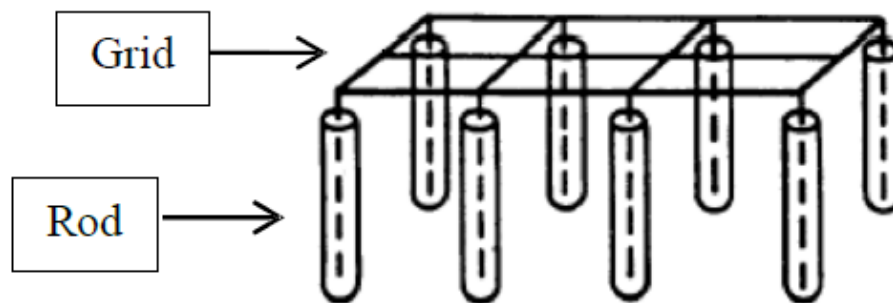
Naskah Diterbitkan : 02 Maret 2019

1. PENDAHULUAN

Untuk menjamin keamanan dan keselamatan manusia terhadap bahaya tegangan lebih pada gardu induk diperlukan sistem pentanahan yang baik, yaitu sistem pentanahan yang dirancang melalui suatu perhitungan yang teliti baik menggunakan alat bantu perangkat lunak [1, 2] maupun perhitungan langsung di lapangan [3], seperti halnya penelitian yang sedang kami lakukan ini. Salah satu faktor yang harus diperhatikan adalah tahanan jenis tanah (*soil resistance*) di area gardu induk tersebut. Apabila manusia berada di dalam areal gardu induk pada saat terjadinya gangguan, arus listrik dapat mengalir pada tubuh manusia yang apabila

melewati nilai tertentu dapat menyebabkan luka bahkan kematian pada manusia, hal ini disebabkan adanya perbedaan potensial tegangan pada permukaan tanah. Pada gardu yang mengalami gangguan ke tanah, arus akan mengalir dalam tanah, sehingga akan menimbulkan tegangan pada permukaan tanah di area pentanahan gardu induk tersebut. Untuk mengurangi resiko keselamatan, maka diperlukan sistem pentanahan yang baik. Sistem pentanahan yang baik sangat penting untuk mencegah terjadinya kerusakan-kerusakan pada peralatan yang ada di dalam gardu induk yang diakibatkan adanya perbedaan potensial tegangan pada tanah. Juga untuk mencegah terjadinya kecelakaan bagi manusia yang sedang berada dalam areal gardu induk, maka diperlukan perhitungan dan perencanaan yang seteliti mungkin.

Sistem pentanahan biasanya menggunakan konduktor yang ditanam secara vertikal maupun horizontal (*rod*) atau dalam bentuk kisi-kisi (*grid*). Konduktor pentanahan biasanya terbuat dari batang tembaga dan memiliki konduktivitas tinggi, kekuatan mekanis, tahan terhadap peleburan dari keburukan sambungan listrik, dan tahan terhadap korosi. Pentanahan dengan menggunakan sistem gabungan *grid-rod* sangat umum diterapkan pada gardu induk (Gambar 1). Pada sistem *grid-rod*, jarak antara konduktor paralelnya sama (*grid simetris*). Kelemahan sistem ini adalah bahwa untuk memperoleh tegangan permukaan yang masih memenuhi syarat keamanan, dibutuhkan konduktor pentanahan yang lebih panjang.



Gambar 1. Sistem pentanahan gabungan *grid-rod* [1].

Penelitian ini ditujukan untuk menganalisa pentanahan dengan menggunakan sistem *grid simetris*. Pentanahan dengan sistem *grid* ini dilakukan dengan menanamkan batang-batang elektroda ke dalam tanah pada kedalaman beberapa cm, sejajar dengan permukaan tanah dan elektroda tersebut dihubungkan satu dengan lainnya sehingga membentuk beberapa jaringan. Makin banyak konduktor yang ditanam dengan sistem ini, maka tegangan yang timbul pada permukaan tanah pada saat terjadi gangguan ke tanah akan terdistribusi merata. Pada pentanahan sistem *grid simetris* ini apabila jumlah elektroda pentanahan yang membentuk *grid* banyak, maka akan menyerupai bentuk pelat dan sangat optimum untuk memperoleh nilai tahanan pentanahan yang kecil.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Sistem pentanahan merupakan salah satu bentuk sistem yang terintegrasi pada sistem ketenagalistrikan dan dimasukkan untuk keamanan sistem secara keseluruhan dari gangguan yang memungkinkan terjadinya kerusakan pada peralatan sehingga berakibat pada putusnya kontinuitas pelayanan daya kepada konsumen (merugikan pelanggan/konsumen listrik). Secara garis besar, tujuan dari pentanahan adalah untuk

memadamkan busur listrik yang bisa timbul pada tanah jika terjadi gangguan arus yang besar dan membatasi tegangan pada fasa-fasa yang belum mengalami gangguan listrik.

Gangguan yang sering terjadi ialah gangguan hubung-singkat (*short-circuit*). Besar dari arus hubung-singkat ini tergantung dari jenis dan sifat gangguan, kapasitas dari sumber daya, konfigurasi dari sistem, metoda hubungan netral dari trafo, jarak gangguan dari unit pembangkit, angka pengenalan dari peralatan-peralatan utama dan alat-alat pembatas arus, lamanya hubung-singkat, dan kecepatan beraksi dari alat-alat pengaman. Gangguan hubung-singkat tidak hanya dapat merusak peralatan atau elemen-elemen sirkuit, tetapi juga dapat menyebabkan jatuhnya tegangan dan frekuensi sistem sehingga kerja paralel dari unit-unit pembangkit menjadi terganggu [4].

A. Elektroda Pentanahan [3, 5]

Elektroda pentanahan, yaitu penghantar yang ditanam ke dalam tanah dan membuat kontak langsung dengan tanah. elektroda pentanahan ini berfungsi untuk mempertahankan tegangan tanah pada konduktor yang dihubungkan padanya dan untuk menyerap ke tanah arus yang dihantarkan ke elektroda tersebut. Adanya kontak langsung tersebut diatas dengan tujuan agar diperoleh pelaluan arus yang sebaik-baiknya apabila terjadi gangguan sehingga arus tersebut disalurkan ketanah.

Elektroda pentanahan dapat berupa sistem perpipaan air minum yang telah ada menggunakan pipa-pipa logam. Selaian itu juga digunakan elektroda-elektroda buatan yang berupa batang, pipa, plat atau penghantar yang ditanamkan ke dalam tanah, dan logam yang tidak dapat berkarat. Elektroda yang digunakan untuk pentanahan harus memenuhi beberapa persyaratan, antara lain:

1. Memiliki daya hantar jenis yang cukup besar sehingga tidak akan memperbesar beda potensial lokal yang berbahaya bagi peralatan maupun keselamatan jiwa disekitar pentanahan.
2. Memiliki kekuatan mekanis yang cukup tinggi.
3. Tahan terhadap peledakan dari keburukan sambungan listrik.
4. Tahan terhadap korosi

Pada umumnya tembaga digunakan sebagai konduktor (elektroda) pentanahan, karena tembaga memiliki sifat yang memenuhi syarat-syarat diatas. Tahanan tanah disekitar elektroda tergantung pada tahanan jenis tanah. Pada sistem pentanahan terdapat beberapa komponen tahanan yang berpengaruh terhadap besarnya, dimana ketiga komponen tersebut mempunyai hubungan yang linier dalam membentuk nilai tahanan pentanahan, yaitu :

1. Tahanan elektroda pentanahan beserta sambungan-sambungan padanya.
2. Tahanan kontak antara elektroda pentanahan dengan tanah disekitarnya.
3. Tahanan tanah di sekitar elektroda pentanahan.

Dari ketiga komponen tahanan tersebut, tahanan tanah disekitar elektroda merupakan besaran yang paling mempengaruhi tahanan pentanahan dibandingkan tahanan elektroda dan tahanan kontak.

Elektroda pentanahan yang terbuat dari logam mempunyai nilai tahanan yang cukup kecil jika ukurannya memadai. Demikian pula dengan tahanan kontak ke tanah dapat

diabaikan apabila permukaan elektroda bebas dari lemak dan cat serta tempat kontak cukup padat sehingga elektroda dapat dipasak dengan kuat.

Untuk mendapatkan tahanan pentanahan yang kecil, diperlukan elektroda pentanahan yang tepat. Prinsip dasar untuk memperoleh tahanan pentanahan yang kecil adalah dengan membuat permukaan elektroda bersentuhan dengan tanah sebesar mungkin sesuai dengan rumus umum dibawah ini:

$$R = \frac{\rho L}{A} \quad (1)$$

dimana

R = tahanan pentanahan [Ω]

ρ = tahanan jenis tanah [$\Omega.m$]

L = panjang lintasan arus pada tanah [m]

A = luas penampang lintasan arus pada tanah [m^2]

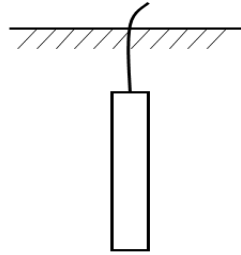
Kesimpulannya, selain ditentukan oleh luas permukaan elektroda pentanahan dan tahanan jenis tanah, tahanan pentanahan yang diperoleh juga ditentukan pula oleh jenis dan bentuk elektroda pentanahannya.

Beberapa bentuk elektroda pentanahan yang dipergunakan antara lain: elektroda bentuk batang, elektroda bentuk pita, dan elektroda bentuk plat. Namun, dalam tulisan ini, penjelasan hanya akan difokuskan kepada elektroda bentuk batang karena elektroda bentuk lain berada di luar area pembahasan/penelitian (*out of our scope*).

B. Elektroda Batang [3, 5, 6]

Elektroda batang adalah elektroda berbentuk pipa atau batang profil atau logam lain yang ditanamkan tegak lurus ke dalam tanah umumnya dengan kedalaman antara 1 sampai 10 meter (Gambar 2). Jenis pentanahan ini yang paling banyak digunakan, karena mempunyai banyak keuntungan apabila dibandingkan dengan menggunakan elektroda bentuk lain. Adapun keuntungan dari elektroda ini adalah:

1. Harganya cukup murah dan juga mudah didapat (tersedia dengan banyak).
2. Pemasangannya mudah dan tidak memerlukan tempat yang luas.
3. Apabila ditanam, diusahakan sampai pada kedalaman air tanah dengan maksud supaya tahanan pentanahan menjadi rendah.
4. Apabila tahanan dari sebuah elektroda batang belum cukup rendah, di sekitar elektroda yang pertama dapat dipasang elektroda lain yang kemudian dihubungkan secara paralel untuk mendapatkan tahanan pentanahan yang lebih rendah (Lihat Gambar 1 di atas).



Gambar 2. Elektroda Bentuk Batang [7]

Makin panjang elektroda batang ditanam ke dalam tanah, maka tahanan kontakannya terhadap tanah akan semakin kecil karena menurunnya tahanan jenis tanah dan bertambahnya luas permukaan tanah yang terkena elektroda. Untuk menentukan besarnya tahanan pentanahan dengan elektroda batang dipergunakan rumus sebagai berikut [3]:

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{4L}{a} - 1 \right) \quad (2)$$

dimana:

R = Tahanan pentanahan elektroda batang [Ω]

ρ = Tahanan jenis tanah [$\Omega.m$]

L = Panjang batang yang tertanam [m]

a = Jari-jari elektroda pentanahan [m]

Faktor paling dominan yang mempengaruhi tahanan sistem pentanahan adalah tahanan jenis tanah di mana elektroda pentanahan ditanam. Di bawah ini diberikan informasi yang menunjukkan nilai tahanan jenis tanah berdasarkan standar PUIL 2000 (Tabel 1).

Tabel 1. Tahanan jenis tanah berdasarkan standar PUIL 2000 [6, 8]

<i>No.</i>	<i>Jenis Tanah</i>	<i>Tahanan Jenis [Ωm]</i>
1.	Tanah rawa	40
2.	Tanah liat dan ladang	100
3.	Pasir Basah	200
4.	Kerikil Basah	300
5.	Pasir dan kerikil kering	<10.000
6.	Tanah berbatu	3.000
7.	Air laut dan tawar	100

Tahanan jenis tanah bervariasi menurut jenis tanahnya karena perbedaan konduktivitas dari masing-masing unsur penyusun tanah [3, 4, 9]. Tanah dengan kelembaban tinggi akan memiliki tahanan jenis tanah yang rendah. Membasahi tanah (meningkatkan kelembaban tanah) adalah metode konvensional untuk menurunkan tahanan jenis tanah. Harga tahanan jenis tanah pada kedalaman yang terbatas sangat bergantung dengan keadaan cuaca. Untuk mendapatkan tahanan jenis rata-rata untuk perencanaan maka diperlukan penyelidikan atau pengukuran dalam jangka waktu tertentu. Biasanya tahanan tanah juga bergantung dari tingginya permukaan tanah dari permukaan air konstan. Metode untuk mengurangi tahanan jenis tanah akibat pengaruh musim, dilakukan dengan menanamkan elektroda pentanahan sampai mencapai kedalaman di mana terdapat air tanah yang konstan.

3. METODE PENELITIAN

Kegiatan penelitian ini dilaksanakan di PT Bekasi Power, Gardu Induk 150 KV, Kawasan Industri Gerbang Teknologi Cikarang, Jl.Tekno No.8, Tanjungsari, Cikarang Utara, Bekasi, Jawa Barat. Adapun metode penelitian yang digunakan adalah dengan melakukan pengambilan data secara langsung (eksperimen), melakukan analisis hasil nilai pentanahan dan kemudian membandingkan hasil nilai pentanahan tersebut dengan standar PUIL 2000. Pengambilan data pengukuran dilakukan terhadap tower Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150 KV transmisi Bekasi-Jababeka sebanyak 6 objek sistem dengan jenis konstruksi baja. Penelitian ini dilaksanakan sepanjang bulan Januari sampai April 2018. Enam objek sistem gardu induk tegangan tinggi yang akan diukur akan dijelaskan lebih lanjut di Bab 4 kecuali objek T-1.1 (Trafo 1), yakni transformator *step up* dari 20 kV ke 150 kV yang tegangannya *output* dari gas turbin generator 1A, karena sedang beroperasi.

A. Alat-alat (Instrumen) Penelitian

Dalam penelitian ini, ada beberapa alat (instrumen) yang digunakan dalam pengukuran (pengambilan data), yang dirangkum dalam Tabel 2 berikut:

Tabel 2. Alat-alat (Instrumen) Penelitian

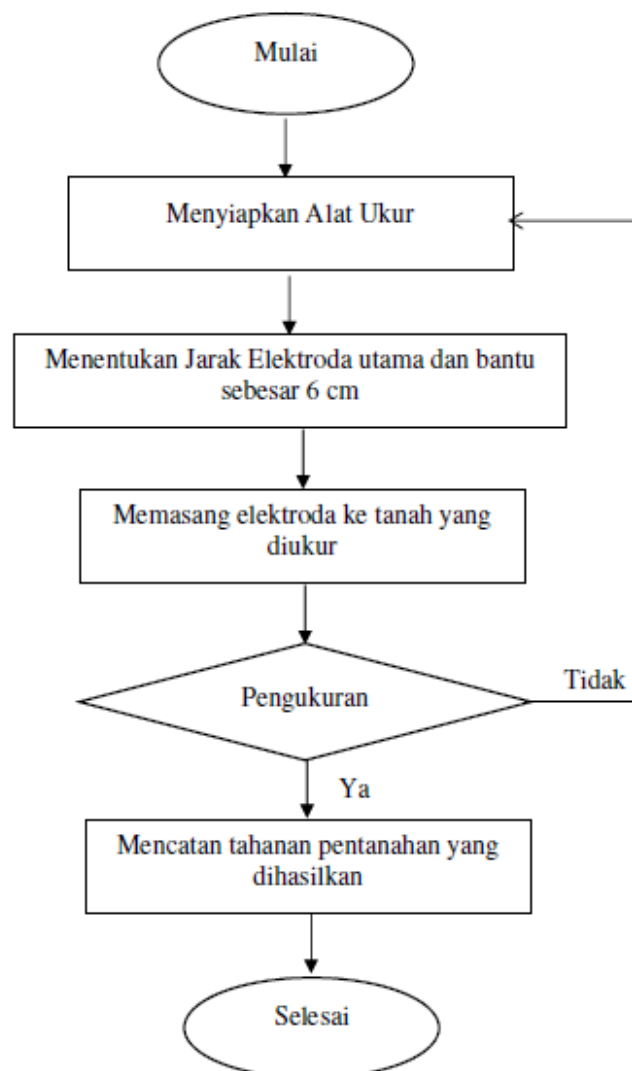
<i>No.</i>	<i>Instrumen Penelitian</i>	<i>Jumlah</i>
1.	<i>Digital Earth Tester</i> (Gambar 3)	1 buah
2.	Elektroda bantu	2 buah
3.	Kabel penghubung 10 s/d 30 m	3 buah
4.	Kunci pas/ring nomor 17	2 buah
5.	Kunci pas/ring nomor 19	2 buah
6.	Kunci pas/ring nomor 24	2 buah
7.	Kunci Inggris	1 buah
8.	<i>High Grade Penetrating oil (WD 40)</i>	1 buah



Gambar 3. *Digital Earth Tester* [10]. Digunakan untuk mengukur nilai tahanan tanah.

B. Langkah-langkah Pengambilan Data

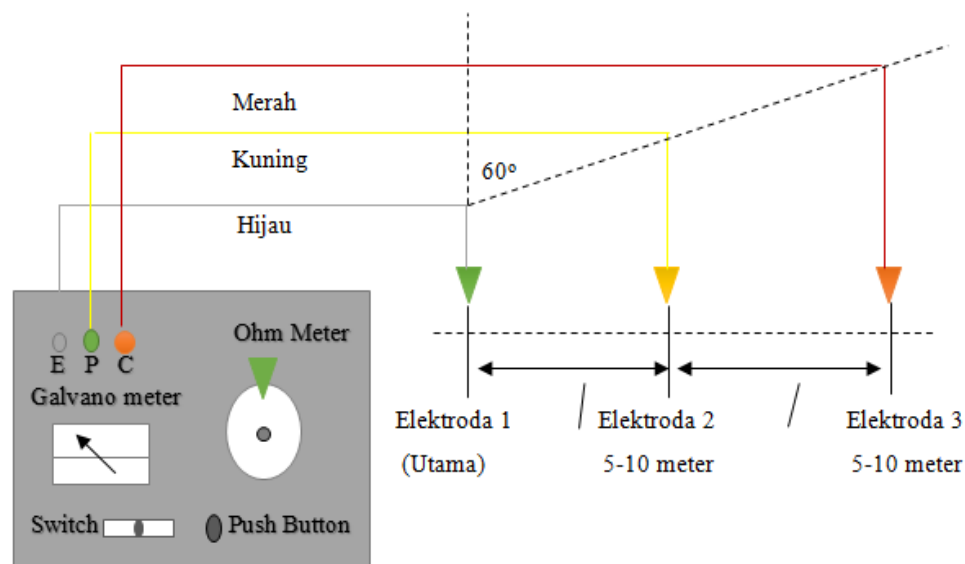
Diagram alir langkah-langkah untuk pengukuran dan pengambilan data penelitian ditunjukkan oleh Gambar 3 di bawah ini.



Gambar 4. Diagram alir proses pengukuran hambatan pentanahan dengan elektroda batang ditanam di tanah.

Pengambilan data dilakukan dalam beberapa langkah berikut:

1. Mempersiapkan alat ukur *Digital Earth Resistance Tester (earth-tester)*.
2. Menanam 2 buah elektroda bantu dengan jarak antara elektroda dengan kaki tower yang akan diukur sejauh 5-10 m dan membentuk sudut 60° (lihat Gambar 5).
3. Menghubungkan elektroda tersebut dengan kabel ke earth tester.
4. Mengecek tegangan baterai dengan menghidupkan *Digital Earth Resistance Tester (earth-tester)*. Jika layar tampak bersih tanpa simbol baterai lemah berarti baterai dalam keadaan baik. Jika layar menunjukkan simbol baterai lemah atau bahkan layar dalam keadaan gelap berarti baterai perlu diganti.
5. Mengecek hubungan atau penjepit pada elektroda utama dan elektroda bantu dengan mensetting *range switch* ke $20\ \Omega$ dan tekan tombol "PRESS TO TEST". Jika hambatan elektroda utama terlalu tinggi atau menunjukkan simbol "....." berkedip-kedip maka perlu dicek penghubung atau penjepit pada elektroda utama.
6. Menghubungkan kaki tower dan arde yang akan diukur dengan kabel ke *earth-tester*.
7. Mengukur hambatan pentanahan tower yaitu gabungan antara kaki dan semua arde dan mencatat hasil pengukuran dalam tabel hasil pengukuran.
8. Melepas arde dari kaki tower dengan kunci yang diperlukan dan kemudian menghubungkan kaki tower dengan kabel ke *earth-tester*.
9. Mengukur hambatan pentanahan dari kaki tower sendiri tanpa arde dan mencatat hasil pengukuran dalam tabel hasil pengukuran.
10. Menghubungkan arde kaki dengan kabel ke *earth-tester* dan mengukur hambatan pentanahan dari arde kaki dari masing – masing sisi secara berlawanan dan atau keseluruhan dan mencatat hasil pengukuran dalam tabel hasil pengukuran.



Gambar 5. Ilustrasi pengukuran dengan menggunakan *Digital Earth Resistance Tester* [11].

4. HASIL PERHITUNGAN DAN ANALISIS PERBANDINGAN

A. Nilai Pentanahan Trafo

Untuk sistem pentanahan T1.1 tidak bisa dilakukan pengukuran karena kondisi trafo sedang beroperasi dan tidak dianjurkan terkait faktor keselamatan manusia dan alat. Pengukuran dimulai dari sistem pentanahan T1.2 dan T1.3 yang memiliki sub-sistem di dalamnya yaitu pentanahan trafo, arrester, CT, CB, DS1, dan DS. Perhitungan nilai tahanan (secara teori) ditampilkan di bawah ini dengan rumus dan parameter yang sudah ditentukan. Demikian juga hasil pengukuran langsung di lapangan dan perbandingannya dengan perhitungan secara teori ditunjukkan dalam Tabel 2 dan Tabel 3 berikut. Parameter-parameternya adalah sebagai berikut:

- Tahanan jenis (tanah liat) = 100 $\Omega \cdot m$ (ρ)
- Jari-jari elektroda = 3,5 cm (a)
- Panjang elektroda (yang tertanam didalam tanah) = 15 m (L)

Maka besar nilai pentanahan:

$$\begin{aligned}
 &= \frac{100 \Omega \cdot m}{2 \cdot 3,14 \cdot 15 m} \times \left[\ln \left[\frac{2 \times 15m}{3,5cm} \right] - 1 \right] \\
 &= \frac{1,061 \times [\ln 8,571] - 1}{1} \\
 &= \frac{1,061 \times 2,148 - 1}{1} \\
 &= 1,061 \times 1,148 \\
 &= 1,218 \Omega
 \end{aligned}$$

Tabel 1. Perbandingan nilai tahanan sistem T1.2 dengan nilai aktual

No	Peralatan	Teori * (Ω)	Aktual (Ω)	Selisih (Δ)	Error selisih (%)
	Sistem T1.2			Teori – Aktual	
1	Trafo	1,218	1,21	0,008	0,8
2	Arrester	1,218	1,20	0,018	1,8
3	CT	1,218	1,18	0,038	3,8
4	CB	1,218	1,18	0,038	3,8
5	DS 1	1,218	1,21	0,008	0,8
6	DS 2	1,218	1,18	0,038	3,8
7	Rata-rata		1,19		2,4

*Sudah sesuai standar PUIL 2000

Tabel 2. Perbandingan nilai tahanan sistem T1.3 dengan nilai aktual

No	Peralatan Sistem T1.3	Teori * (Ω)	Actual (Ω)	Selisih (Δ) Teori – Aktual	Error selisih (%)
1	Trafo	1,218	1,18	0,038	3,8
2	Arrester	1,218	1,18	0,038	3,8
3	CT	1,218	1,21	0,008	0,8
4	CB	1,218	1,20	0,018	1,8
5	DS1	1,218	1,17	0,048	4,8
6	DS2	1,218	1,21	0,008	0,8
7	Rata-rata		1,19		2,6

*Sudah sesuai standar PUIL 2000

B. Nilai Pentanahan Sistem Bus Coupler

Sistem Bay Coupler adalah sistem penghubung antara output T-1.1, T-1.2, T-1.3 sisi 150 kV dan OHL Jababeka 1 dan 2. Sistem Bay Coupler sendiri terdiri dari 5 sub CB1, CT1, DS 1, CB2, DS2, CT2 dan masing-masing memiliki pentanahan tersendiri, untuk data sebagai berikut dan hasilnya ditampilkan di Tabel 4. Dengan parameter-parameter sebagai berikut:

- Tahanan jenis (Tanah Liat) $= 100 \Omega.m (\rho)$
- Jari-jari elektroda $= 3,5 \text{ cm } (a)$
- Panjang elektroda (yang tertanam didalam tanah) $= 10 \text{ m } (L)$

Maka besar nilai pentanahannya:

$$\begin{aligned}
 &= \frac{100 \Omega \text{ m}}{2 \cdot 3,14 \cdot 10 \text{ m}} \times \left[\text{Ln} \left[\frac{2 \times 10 \text{ m}}{3,5 \text{ cm}} \right] - 1 \right] \\
 &= \frac{1,592}{1} \times [\text{Ln} [5,714] - 1] \\
 &= \frac{1,592}{1} \times [1,743 - 1] \\
 &= 1,592 \times 0,743 \\
 &= 1,183 \Omega
 \end{aligned}$$

Tabel 3. Perbandingan nilai hambatan sistem Bay Coupler dengan nilai aktual

No	Peralatan Sistem Bus Coupler	Teori * (Ω)	Aktual (Ω)	Selisih (Δ) Teori –Aktual	Error selisih (%)
1	CB1	1,183	1,19	0,007	0,7
2	CT1	1,183	1,19	0,007	0,7
3	DS1	1,183	1,17	0,013	1,3
4	DS2	1,183	1,17	0,013	1,3
5	CT2	1,183	1,16	0,023	2,3
6	Rata-rata		1,17		1,008

*Sudah sesuai standar PUIL 2000

C. Nilai Pentanahan OHL Jababeka

Sistem OHL (*Over Head Line*) Jababeka I dan II merupakan hasil output dari generator dan setelah melalui trafo T-1.1, T-1.2, T-1.3 yang akan dialirkan menuju G1 Jababeka, suplai dengan system 150 kv. Sistem OHL Jababeka I dan II terdiri dari DS1, DS2, CB, CT, DSE, Arrester.

Dengan parameter-parameter sebagai berikut:

- Tahanan jenis (Tanah Liat) = 100 Ω .m (ρ)
- Jari-jari elektroda = 3,5 cm (a)
- Panjang elektroda (yang tertanam didalam tanah) = 20 m (L)

Maka besar nilai pentanahannya:

$$\begin{aligned}
 &= \frac{100 \Omega \text{ m}}{2 \cdot 3,14 \cdot 20 \text{ m}} \times \left[\text{Ln} \left[\frac{2 \times 20 \text{ m}}{3,5 \text{ cm}} \right] - 1 \right] \\
 &= \frac{0,796}{1} \times [\text{Ln} [11,42] - 1] \\
 &= \frac{0,796}{1} \times [2,436] - 1 \\
 &= 0,796 \times 1,436 \\
 &= 1,143 \Omega
 \end{aligned}$$

Tabel 5 dan Tabel 6 memperlihatkan perbandingan hambatan sistem OHL Jababeka I dan II masing-masing secara teori dengan nilai aktual.

Tabel 4. Perbandingan nilai hambatan sistem OHL Jababeka I secara teori dan aktual

No	Peralatan	Teori * (Ω)	Aktual (Ω)	Selisih (Δ)	Error
----	-----------	----------------------	---------------------	----------------------	-------

	Sistem OHL I			Teori – Aktual	selisih (%)
1	DS1	1,143	1,13	0,013	1,3
2	DS2	1,143	1,13	0,013	1,3
3	CB	1,143	1,14	0,003	0,3
4	CT	1,143	1,15	0,007	0,7
5	DSE	1,143	1,15	0,007	0,7
6	Arrester	1,143	1,14	0,003	0,3
7	Rata-rata		1,14		0,76

*Sudah sesuai standar PUIL 2000

Tabel 5. Perbandingan nilai hambatan sistem OHL Jababeka II secara teori dan aktual

No	Peralatan Sistem OHL II	Teori * (Ω)	Aktual (Ω)	Δ (Teori – Aktual)	Error selisih (%)
1	DS1	1,143	1,14	0,003	0,3
2	DS2	1,143	1,15	0,007	0,7
3	CB	1,143	1,15	0,007	0,7
4	CT	1,143	1,13	0,013	1,3
5	DSE	1,143	1,13	0,013	1,3
6	Arrester	1,143	1,15	0,007	0,7
7	Rata-rata		1,14		0,83

*Sudah sesuai standar PUIL 2000

D. Analisis Perbandingan Perhitungan Data Aktual dan Teori

Dari perhitungan diatas, kami mendapatkan data untuk panjang elektroda yang tertanam di dalam tanah untuk setiap sistem tidak sama:

- Trafo T-1.3 dan T-1.2 = 15 m
- Bus coupler = 10 m
- OHL Jababeka I dan II = 20 m

Namun dengan luas penampang yang sama yakni 70 mm. Hal ini dimaksudkan agar apabila terjadi gangguan pada sistem 150 kV yang berada di luar wilayah Bekasi Power, maka akan lebih cepat dialirkan ke dalam tanah oleh sistem pentanahan OHL

Jababeka I dan II terlebih dahulu. Hal ini akan bisa terjadi karena elektroda batang yang tertanam pada system tersebut adalah yang paling dalam yakni 20 m. Dan untuk Bay Coupler digunakan panjang elektroda yang tertanam paling pendek disebabkan fungsinya hanya sebagai penghubung antara Trafo dan OHL.

Parameter kritikal dalam hal besarnya nilai tahanan pembumian adalah panjang elektroda yang tertanam di dalam tanah, luas penampang elektroda, dan nilai tahanan jenis tanah tersebut. Jika panjang elektroda yang tertanam di dalam tanah semakin dalam dan luas penampang elektroda semakin besar serta nilai tahanan jenis tanah semakin kecil maka bisa dipastikan nilai sistem pembumian (pentanahannya) akan semakin kecil. Jika terjadi kebocoran arus atau terdapat gangguan, maka bisa secepatnya dialirkan ke dalam tanah sehingga kondisi peralatan dan manusia akan lebih aman.

Di dalam perbandingan teori dan pengukuran aktual menggunakan alat (*Digital Earth Tester*) dengan merek Kyoritsu di atas, didapat nilai selisih kurang dari 5%. Hal ini disebabkan beberapa faktor yaitu suhu udara atau lingkungan dan kadar air dalam tanah. Kondisi ini bisa dilihat dari hasil pengukuran aktual yang lebih kecil dari teori. Ternyata, kadar air yang tinggi di dalam tanah bisa merubah nilai tahanan jenis menjadi lebih kecil sehingga akan merubah nilai pentanahan menjadi lebih kecil.

5. KESIMPULAN dan SARAN

Berdasarkan hasil analisis maka disimpulkan bahwa nilai tahanan yang terpasang di Gardu Induk 150 kV PT Bekasi Power lebih kecil dari 5 ohm ($< 5 \Omega$). Nilai ini sudah sesuai dengan standar rekomendasi SNI 04-0225-2000, Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL) 2000.

Sebagai tindak lanjut penelitian, ada beberapa saran yang dapat diberikan:

1. Untuk mengetahui tahanan jenis tanah, tidak boleh hanya berpatokan/mengacu kepada tabel tahanan jenis tanah. Sebaiknya dilakukan pengukuran langsung karena tidak semua tahanan jenis tanah di setiap daerah sama nilainya [4].
2. Untuk mendapatkan nilai pentanahan yang lebih baik pada tower transmisi, maka pihak Bekasi Power dan PLN disarankan menggunakan pentanahan tambahan agar tercapai pentanahan sebesar $0,5 \Omega$ atau lebih kecil dari 1Ω .
3. Untuk menghindari hal-hal yang tidak diinginkan, maka sebaiknya dilakukan pengontrolan peralatan pentanahan minimal seminggu sekali dan perawatan secara berkala setiap bulan sehingga kabel koneksi tidak mengalami korosi.

DAFTAR REFERENSI

- [1.] Alwini, A. F, Abduh, S. (2019). Analisis Sistem Pentanahan Turbin Pembangkit Listrik Tenaga Bayu Sidrap Sulawesi Selatan. JETri, 16(2), 121-134.
- [2.] Abouzeid, O., Syakur, A., & Hermawan. (2018). Design of Grounding System at 150 KV Krapyak Substation By Grounding System Software. International Journal of Engineering Science and Computing (IJESC), 8(2), 17178-17185.
- [3.] Nawir, H., Djalal, M. R., Sonong. (2018). Rancang Bangun Sistem Pentanahan Penangkal Petir Pada Tanah Basah dan Tanah Kering pada Laboratorium Teknik Konversi Energi. Jurnal Ilmu-Ilmu Teknik Elektro dan Rekayasa (JEEE-Umsida), 2(2), 48-55.
- [4.] Suprianto. (2018). Analisis Tegangan Jatuh pada Jaringan Distribusi 20 kV PT. PLN Area Rantau Prapat Rayon Aek Kota Batu. Journal of Electrical Technology, 3(2), 64-72.

- [5.] Ija Darmana, I., Yudha, D. O., Erliwati (2016). IMPLEMENTASI SISTEM PENTANAHAN GRID PADA TOWER TRANSMISI 150 KV (APLIKASI PADA TOWER SUTT 150 KV TOWER 33), JURNAL IPTEKS TERAPAN Research of Applied Science and Education V9.i2 (185-194).
- [6.] Janardana, IGN (2005). Pengaruh Umur Pada Beberapa Volume Zat Aditif Betonit Terhadap Nilai Tahanan Pentanahan. Jurnal Teknologi Elektro, Vol. 4 No. 2, Juli - Desember 2005, Universitas Udayana, Bali.
- [7.] Presentasi Perkuliahan Program D1 OPHAR GI & Transmisi Calon Pegawai PLN (Persero), diakses dari: <https://slideplayer.info/slide/11930144/>
- [8.] Badan Standarisasi Nasional (BSN), SNI 04-0225-2000, Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL) 2000, Diunduh dari tautan berikut: <https://mulyono.staff.uns.ac.id/files/2009/10/13707100-puil-2000.pdf>
- [9.] Markiewicz, H., Klajn, A. (2003). Earthing & EMC - Earthing Systems - Fundamentals of Calculation and Design, Wroclaw University of Technology, Polandia.
- [10.] <http://www.yusari.co.id/KYORITSU-Earth-Tester-4105A.html>. [Diakses: 20 Maret 2019]
- [11.] Diadaptasi dari <https://www.tipsrawatrumah.com/2015/03/cara-mengukur-groundingarde.html>